

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП



Юрій РЕКОВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Аглодоменне виробництво»
за спеціальністю 136 Металургія

на тему **«Вдосконалення системи охолодження доменної печі з
підвищенням стійкості охолоджувальних пристроїв»**

Керівник роботи

Максим БОЙКО

Наставник від бази
практики

Вадим ОПОЛОНІН

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Максим ОМЕЛЬЧЕНКО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олександр ФОМЕНКО

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Аглодоменне виробництво</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП

Юрій РЕКОВ

25 грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Омельченко Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Вдосконалення системи охолодження доменної печі з підвищенням стійкості охолоджувальних пристроїв»
керівник роботи Бойко Максим Миколайович, доцент, канд. техн. наук.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №238/14.10.2024 від 14.10.2024 р
2. Термін подання роботи: 15 лютого 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики доменного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «Запоріжсталь».
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження особливостей охолодження доменної печі та різновидів охолоджувальних пристроїв. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи доменної печі при застосуванні різних схем охолодження та охолоджувальних пристроїв різних типів. Визначення взаємозв'язків впливу типу систем охолодження, виду охолоджувальних пристроїв та основних техніко-економічних показників роботи доменної печі. Розробка пропозицій по покращенню системи охолодження доменній печі та підвищення стійкості охолоджувальних пристроїв. Розділ 3. Охорона праці в доменному цеху. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 7 слайдів основної частини, 1 слайд економічна частина.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Бойко М.М., доцент
Розділ 2	Бойко М.М., доцент
Розділ 3	Бойко М.М., доцент
Розділ 4	Латишева О.В, доцент

7. Дата видачі завдання 25.12.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2024-03.01.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	03.01.2025-23.01.2025
3	Розділ 3. Охорона праці	23.01.2025-26.01.2025
4	Розділ 4. Економічний розділ	26.01.2025-30.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	30.01.2025-03.02.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-05.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	05.02.2025-15.02.2025
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	15.02.2025-20.02.2025

Здобувач

Максим ОМЕЛЬЧЕНКО

Керівник роботи

Максим БОЙКО

АНОТАЦІЯ

Омельченко М.М. Вдосконалення системи охолодження доменної печі з підвищенням стійкості охолоджувальних пристроїв. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Аглодоменне виробництво» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єкт дослідження – Доменні печі №№2-4 МК «Запоріжсталь».

Предмет дослідження – Система охолодження доменної печі. Конструкція та матеріал холодильників у заплечиках, а також їхній вплив на тепловий режим печі

Дипломна робота присвячена оптимізації системи охолодження доменної печі шляхом заміни чавунних холодильних плит у заплечиках на мідні. Запропоноване технічне рішення спрямоване на підвищення ефективності роботи печі, зменшення зносу холодильних елементів і футеровки, а також раціоналізацію витрат палива. Використання мідних холодильників покращує теплопередачу, знижує ризик утворення гарячих зон і підвищує стійкість охолоджувальних елементів до теплових та механічних навантажень.

У дослідженні проведено ґрунтовний аналіз існуючих систем охолодження доменних печей, включаючи порівняння характеристик чавунних і мідних холодильників щодо теплопровідності, корозійної стійкості та довговічності. Особливу увагу приділено впливу матеріалу охолоджувальних плит на процес горіння і споживання палива. Детально обґрунтовано техніко-економічну доцільність використання мідних плит, що дозволяє збільшити частку пиловугільного палива в доменному процесі, зменшити споживання коксу і знизити загальну собівартість виробництва чавуну.

ДОМЕННА ПІЧ, СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ, МІДНІ ХОЛОДИЛЬНИКИ , ЧАВУННІ ХОЛОДИЛЬНИКИ, ПИЛОВУГІЛЬНЕ ПАЛИВО, КОКС, ТЕПЛОПЕРДАЧА , МОДЕРНІЗАЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ТА РІЗНОВИДІВ ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ	7
1.1 Виробництво чавуну	7
1.2 Характеристика робочого простору	9
1.3 Профіль доменної печі	11
1.4 Особливостей охолодження доменної печі	14
1.5 Різновиди охолоджувальних пристроїв	17
1.6 Види охолоджуючих елементів	25
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	34
2.1 Статистичний аналіз даних роботи доменної печі при застосуванні різних схем охолодження та охолоджувальних пристроїв різних типів	34
2.2 Система охолодження ДП-2	42
2.3 Система охолодження ДП-3	42
2.4 Порівняння типів холодильників в різних зонах доменних печей «ПАО Запоріжсталь»	44
3 ОХОРОНА ПРАЦІ В ДОМЕННОМУ ЦЕХУ	48
3.1 Основні напрямки забезпечення безпечних умов праці	48
3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів на ділянці доменного цеху	53

4 РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	56
4.1 Собівартість чавуну	56
4.2 Визначення додаткових витрат при заміні чавунних холодильників на мідні	57
4.3 Розрахунку економічного ефекту від зміни використання палива	58
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТОК А	64
ДОДАТОК Б	67

ВСТУП

Технологічна схема виробництва чавуну в доменних печах передбачає використання значної кількості різних агрегатів, пристроїв, машин, механізмів, робота яких в значній мірі визначає ефективність доменної плавки. Сучасна доменна піч являє собою металургійний агрегат складної конструкції та безперервної дії. Корисний об'єм її робочого простору досягає 5000 м³ і більше. Така піч щодоби може переробляти до 25000 т шихтових матеріалів, споживати до 20000 т збагаченого киснем повітря, виплавляти до 13000 т чавуну й до 4000 т шлаків, видавати до 28000 т колошникового газу.

Гарантією нормальної роботи доменної печі є надійне й ефективно працююче встаткування. При виборі режиму роботи встаткування виходять із технологічних вимог процесу ведення печі. Сучасна піч оснащена новітніми засобами діагностики роботи обладнання, контролю за ходом доменного процесу, системами механізації й автоматизації всіх виробничих процесів. Робота на такій печі висуває високі вимоги до технологічного персоналу в частині знань теорії процесу, конструкції та обладнання доменної печі, а також практичних навичок й умінь, відповідальності й самостійності в прийнятті рішень по керуванню таким складним агрегатом.

1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ ТА РІЗНОВИДІВ ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

1.1 Виробництво чавуну

В основі виробництва чавуну лежить процес відновлення заліза з його оксидів (в руді залізо може бути у вигляді Fe_2O_3 , Fe_3O_4). Відновники – оксид вуглецю, вуглець коксу і водень, що вносяться та утворюються в ході доменного процесу. В результаті фізико-хімічних процесів залізняк втрачає кисень. Відновлене залізо має здатність поглинати вуглець. В результаті утворюється сплав заліза з вуглецем (чавун) [1-3].

Чавун, що утворюється в доменній печі, накопичується в горні. Він випускається періодично 6-8 разів на добу через чавунну льотку. Для цього в льотці спеціальними бурильними машинами пробивається отвір, і рідкий чавун по жолобу прямує в чавуновозні ковші. Після випуску чавуну чавунна льотка закладається вогнетривкою масою.

Шлак накопичується в горні на поверхні чавуну і видаляється через шлакову льотку в шлаковозні ковші і далі на переробку або у відвал. На сучасних крупних доменних печах шлак випускають через чавунну льотку після випуску чавуну [2-5].

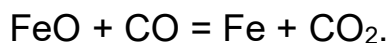
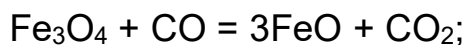
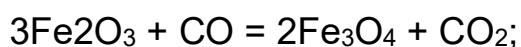
Фізико-хімічні процеси в доменній печі

У доменній печі в ході плавки є два потоки: зверху вниз переміщуються шихтові матеріали; знизу підіймаються гарячі відновлювальні гази.

Знизу в піч через фурми надходить нагріте повітря. Кисень повітря взаємодіє з вуглецем коксу за реакцією $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{Q}$.

Реакція йде з виділенням великої кількості тепла, і на рівні фурм температура досягає 1700-2000°C. CO₂, реагуючи з розжареним коксом, перетворюється в CO за реакцією $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$. Велика частина цього оксиду вуглецю йде на відновлення оксидів заліза, кремнію, марганцю і інших хімічних елементів [1-5].

Просуваючись нижче, шихта потрапляє в зони високих температур, де йдуть процеси відновлення заліза оксидом вуглецю (непряме відновлення) за реакціями:



Відновлення заліза з руди може відбуватися також за рахунок вуглецю коксу (пряме відновлення) при температурі 950-1000°C $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$.

Відновлене залізо, що контактує з оксидом вуглецю, при температурі 820-850 °C науглецьовується $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$.

У нижній частині шахти кількість вуглецю в залізі досягає 1%. Утворюється карбід заліза Fe₃C, що розчиняється в залізі, утворює чавун, знижуючи температуру плавлення заліза.

Подальше насичення заліза вуглецем відбувається, коли метал вже знаходиться в розплавленому стані і проходить через шар гарячого коксу. Залізо, зазвичай, розчиняє приблизно 4 % вуглецю [3-6].

Продукти доменного виробництва

Продуктами доменного виробництва є чавун, шлак і доменний (колошниковий) газ.

Основним продуктом доменної плавки є чавун – сплав заліза з вуглецем і іншими хімічними елементами. Він використовується для переробки в сталь (до 90%) і отримання ливарних виробів. Побічним

продуктом є шлак наступного складу, % мас: 30-35 SiO_2 , 40-45 CaO , 10-15 Al_2O_3 , 1-1,5 FeO , 2-5 CaS . Його питома вага 2-3 т/м^3 , в гранульованому вигляді – 0,6-1,0 т/м^3 . Побічним продуктом є і доменний газ, що містить, % мас.: 8-10 CO_2 , 25-35 CO , 1-3 H_2 , 55-60 N_2 . Температура газів, що виходять з доменної печі, 150-300°C, їх теплотворна здатність 3300-4200 кДж/м^3 . Таким чином, колошниковий газ – висококалорійне паливо і, після очищення, використовується як паливо у повітрянагрівачах, металургійних печах, коксівних батареях [2-6].

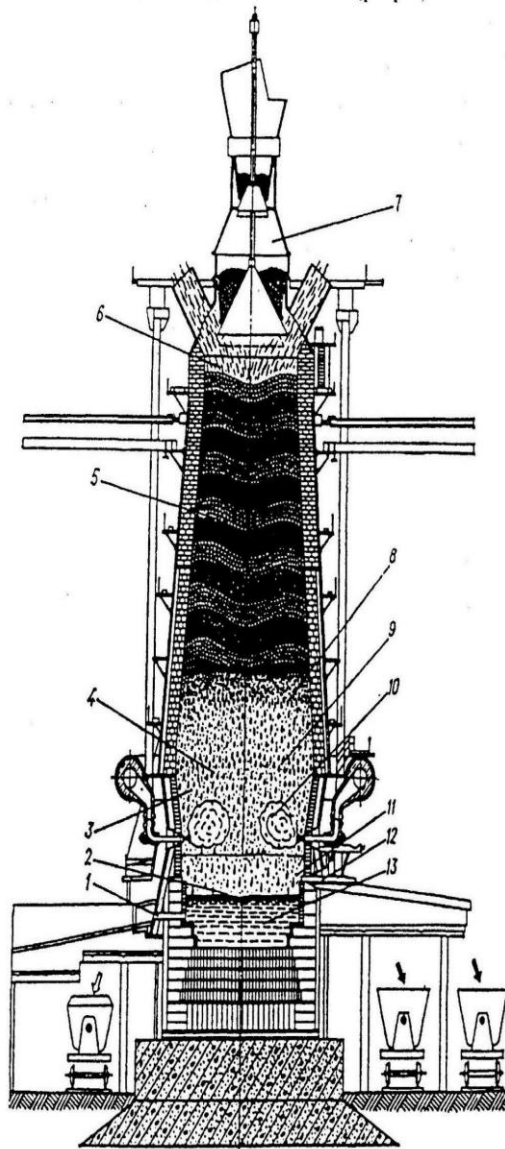
1.2 Характеристика робочого простору

Важливим елементом конструкції доменної печі є її робочий простір. Він представляє собою в середині печі посудину, геометрична форма якої обмежується вогнетривкою кладкою бокових стінок та дном печі (лещаді). В робочому просторі протікає весь комплекс взаємопов'язаних та взаємообумовлених процесів, що забезпечують перехід вихідних шихтових матеріалів в продукти доменної плавки. Саме необхідність забезпечення високої ефективності доменного процесу висуває певні вимоги до геометричної форми робочого простору печі. Робочий простір повинен забезпечити:

- протитечійний рух шихтових матеріалів зверху вниз та газів знизу вверху;
- оптимальні умови для протікання різних процесів у відповідних зонах по висоті та перерізу печі;
- можливості ефективного управління технологічним процесом доменної плавки;
- умови для підвищення продуктивності доменної печі та зменшення витрат енергетичних ресурсів [1-2];

- стабільність конфігурації та розмірів впродовж кампанії печі.

Основними характеристиками робочого простору є його профіль за вертикальним осьовим та горизонтальним перерізами і корисний об'єм.



1 – чавунна льотка; 2 – горн; 3 – заплечики; 4 – розпар; 5 – шахта;
 6 – колошник; 7 – завантажувальний пристрій; 8 – зона утворення чавуну;
 9 – зона утворення шлаків; 10 – зона горіння коксу; 11 – шар шлаків;
 12 – шлакова льотка; 13 – шар чавуну

Рисунок 1.1 – Загальний вид доменної печі (розріз)

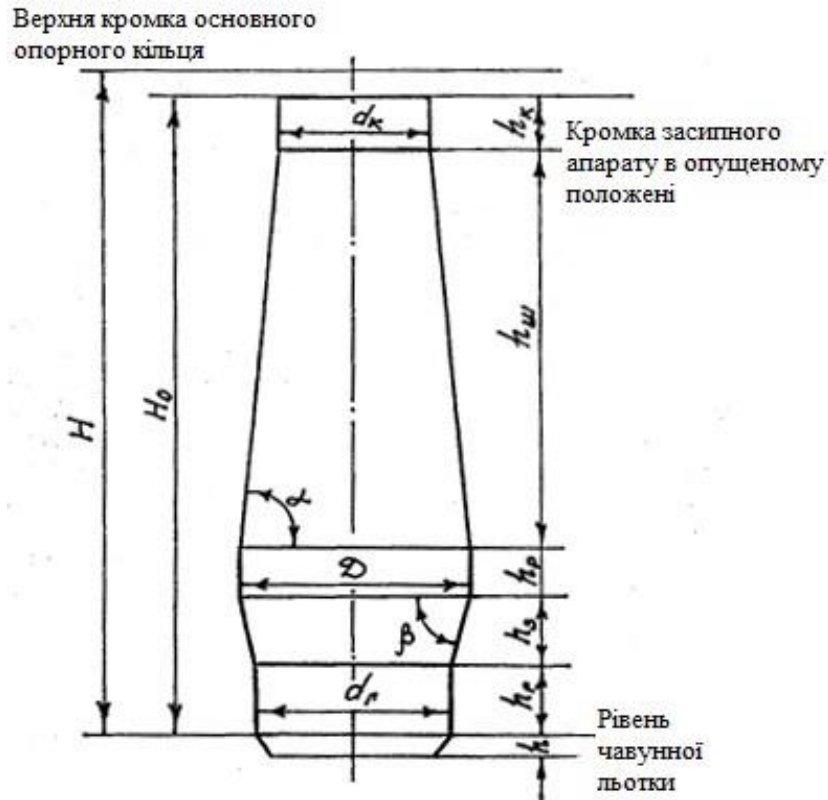
1.3 Профіль доменної печі

Профілем називають внутрішній обрис робочого простору доменної печі в площині її перерізу. В залежності від типу перерізу конфігурація профілю суттєво відрізняється. Так, в горизонтальному перерізу печі він представляє собою коло. Що до вертикального осьового перерізу (рис. 1.2), то він має складну конфігурацію, обумовлену характером різних фізико-хімічних процесів, що протікають на різних рівнях по висоті робочого простору печі. В даному випадку профіль умовно ділиться на п'ять частин, що відрізняються одна від одної за технологічним призначенням і формою (зверху вниз, як показано на рис. 1.2): колошник, шахта, розпар, заплечики і горн [1-2].

Колошник- це циліндрична частина розташована вгорі печі. Через неї здійснюється завантаження і розподіл шихти, тому колошник зазнає ударних і абразивних впливів від залізородних матеріалів, коксу і флюсу, що ссипаються з великого конуса. А як пристрій має складну багатоповерхову конструкцію, в яку входить завантажувальний пристрій, система газовідводів з клапанами, мініциклони і трубопровідна система вирівнювання тиску [7-9].

Шахта – це найбільша за обсягом і найменш стійка частина печі, що має форму зрізаного конуса. Саме у шахті відбуваються основні фізико-хімічні процеси взаємодії між твердими шихтовими матеріалами та газами. І її значна висота обумовлена тим, що при русі матеріалів має відбутися найбільше опосередковане відновлення оксидів заліза, а це досягається тривалим перебуванням матеріалів у шахті. Якщо висота недостатня, матеріали переходять у нижню частину печі слабо відновленими, а щоб забезпечити високу газопроникність стовпа шихти

протягом усього плавильного процесу, шахта розширюється зверху донизу [7-9].



H – повна висота; H_0 – корисна висота; h – висота «мертвого» шару (зумпфа); h_3 – висота заплечиків; h_p – висота розпару; $h_{ш}$ – висота шахти; h_k – висота колошника; d_r – діаметр горна; d_k – діаметр колошника; D – діаметр розпару; α – кут нахилу шахти; β – кут нахилу заплечиків

Рисунок 1.2 – Профіль доменної печі

Розпар – циліндрична частина печі, що має найбільший діаметр і забезпечує плавний перехід шахти в заплечики. У профілі домни розпар розташований відповідно до початку етапу шлакоутворення. За рахунок його широких габаритів знижується швидкість руху газів у зоні шлакоутворення та попереджається підвисання шихти, так як у момент

переходу залізорудних матеріалів у тістоподібні маси знижується проникність шару шихти та зростає гідродинамічний опір. Тут починається розм'якшення й плавлення залізорудних матеріалів. При роботі печі на підготовленій шихті зона розм'якшення й плавлення має обмежену висоту, що й визначає висоту розпару на рівні 1,7-2,0 м незалежно від об'єму печі [7-9].

Заплечики – ця частина печі має форму перевернутого зрізаного конуса. Це дозволяє спрямувати газові потоки із зони горіння в «рудний гребінь» та сповільнює темп руху шихтового стовпа вниз.

Горн – він являє собою нижню циліндричну частину домни і складається з двох частин: фурменної зони та металоприймача. У фурменній зоні знаходяться отвори і прилади, за допомогою яких в домну під тиском подається нагріте повітряне дуття. А в металоприймачі, що збирає рідкий чавун та шлак, розташовані отвори для їх випуску. Лещадь – це подіна металоприймача. Враховуючи масогабаритні параметри та принцип роботи доменної печі, леща є одним із її найбільш відповідальних елементів. Вона відчуває значний гідростатичний тиск і температурну напругу і тому виконується з вуглецевого та високоглиноземистого матеріалу та має особливий вид охолодження.. Висота мертвого шару на сучасних печах становить $h_{\text{мш}} = (0,1 \div 0,2) \cdot d_{\text{Г}}$, м (без обліку розпалу лещаді) [7-9].

У фурменній зоні, у самій верхній частині горна, по всій його окружності, розташовані повітряні фурми для подачі гарячого дуття.

Фундамент- доменна піч є унікальною спорудою, що має колосальну масу. Іноді на 1 м³ її корисного об'єму може сягати 12...15 тонн вагового навантаження, створюваної конструкцією самої печі, завантаженої шихтою і розплавом. Щоб передати таке навантаження на ґрунт рівномірно, мінімізувати осадку та термічне

старіння, фундамент доменної печі зводиться двошаровим: нижня частина є масивною підшвою, верхня – пень. Підшва виконується з бетону марки не нижче 400 та гравійного наповнювача. Консольні частини її армуються сталлю. Пень виконується з вогнетривкіших матеріалів і полягає в циліндричній кожух, поверх якого створюється склянка з шамотного вогнетриву [1-5].

Доменний цех ПАО «Запоріжсталь» є складним комплексом. Взаємопов'язаних агрегатів, будівель, споруд та транспортної системи.

До складу комплексу входять чотири доменні печі з кожною з них і розташованим поблизу них комплексом об'єктів (доменна піч з колошниковим пристроєм, ливарний двір, повітронагрівачі з газоповітропроводами, система газоочищення, аспірації ливарного двору та шихтоподачі, скіповий витяг з машиною.(додаток Б) [11].

1.4 Особливостей охолодження доменної печі

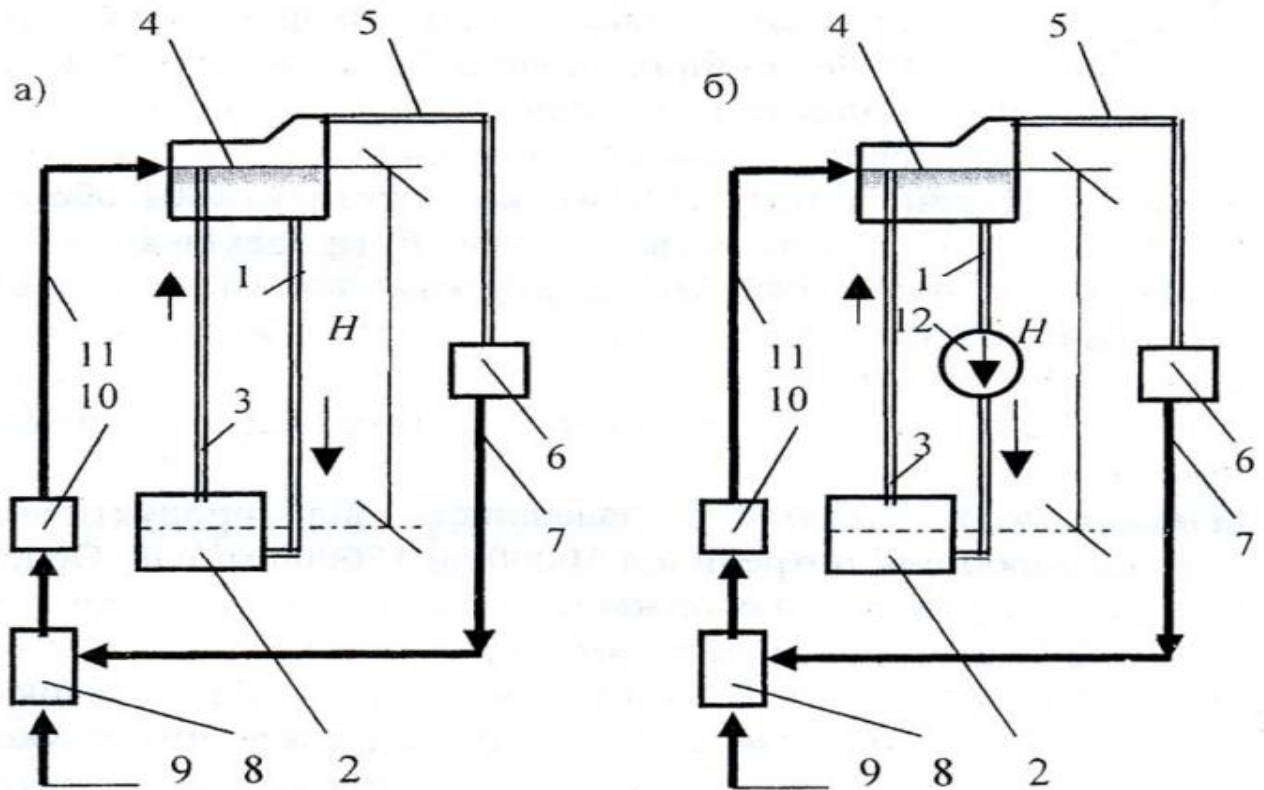
При охолодженні елементів доменної печі водою тепло відводиться шляхом нагрівання води, в результаті чого тимчасова жорсткість розкладається за рівнянням рівноваги вуглекислого газу і утворює малорозчинний карбонат кальцію. Утворений карбонат кальцію (CaCO_3) потрапляє на теплонавантажені поверхні і перешкоджає теплообміну, тобто ефективному охолодженню доменної печі. Оскільки теплопровідність CaCO_3 у десять разів нижча, ніж у металу, ефективність охолодження компонента стає поганою, що в деяких випадках може призвести до виходу компонента з ладу через вигорання. Вартість охолоджувальної води для доменної печі становить близько 2000-3000. м3/год Вода лише нагрівається в процесі випаровування і не забруднена механічними чи хімічними домішками. Системи водяного охолодження

доменних печей зазвичай використовують реверсивну схему, використовуючи свіжу технологію для подачі води, з обсягом продувки до 5% споживання оборотної води системою. При водяному охолодженні доменних печей утворюються умовно чисті стічні води, що несуть тільки термальне забруднення [12-14].

Випарне охолодження доменної печі. Крім водяного охолодження в доменній печі також використовується випарне охолодження. Його суть полягає в тому, щоб замість звичайної води для охолодження доменної печі використовувати суміш пари і води. Випарне охолодження використовує в 60 разів менше води, ніж водяне охолодження, завдяки більш інтенсивному відведенню тепла. Але при цьому виникає проблема утворення щільних сольових (карбонатних) відкладень на всіх теплонавантажених поверхнях. Відкладення солей при випарному охолодженні в сотні разів інтенсивніше, ніж при охолодженні водою. Тому системи випарного охолодження повинні подавати хімічно очищену або глибоко пом'якшену воду. Під час охолодження елемента теплового навантаження (рис. 1.3) вода випаровується і піднімається у вигляді пароводяної суміші в сепараційну ємність, де пара частково конденсується і утворює воду. Вода в баку падає до елемента теплового навантаження, тобто відбувається циркуляція води - іноді самопливом (природним шляхом), іноді примусово (за допомогою циркуляційного насоса). Звичайно, вода в системі випарного охолодження не повинна містити твердих солей і корозійних речовин [17].

Ефективне охолодження необхідне для балансування теплового навантаження та пов'язаного з ним зносу футеровки печі, а також для захисту зовнішньої оболонки та її охолоджуючих елементів. Системи охолодження доменної печі відіграють ключову роль у терміні служби доменної печі та її експлуатаційних витратах. Для захисту цих елементів

від теплового випромінювання між корпусом доменної печі і верхньою вогнетривкою футеровкою печі встановлені охолоджувальні елементи з внутрішньою циркулюючою водою [12-16].



а - з природною циркуляцією води; б- із примусовою циркуляцією води; 1- трубопровід охолоджуючої води; 2- піч; 3- трубопровід пароводяної емульсії; 4 - бак-сепаратор пару; 5 - паропровід до споживачів ару; 6 - споживачі пару; 7- трубопровід конденсату пару; 8- хімводоочистка; 9 - подача води з джерела; 10- насосна станція; 11- подача зм'якшеної води; 12 - циркуляційний насос

Рисунок 1.3 - Схеми випаровувального охолодження доменних печей

Функція системи охолодження доменної печі полягає в охолодженні корпусу печі та запобіганні перегріву та подальшому горінню. Система охолодження видаляє надлишок тепла, що утворюється в доменній печі, який інакше впливав би на кожух. Таким чином, система охолодження запобігає перегріванню корпусу клапана та футеровки. Існує кілька способів охолодження корпусу доменної печі. У минулому, на додаток до власних охолоджувачів, частина кожуха, що примикає до поду і днища печі, у деяких печах також охолоджувалась зовні водяними струменями. Також раніше для передачі тепла печі охолодному середовищі у поєднанні із зовнішнім охолодженням (розпилювальне охолодження, подвійний кожух) використовувалися холодильні камери різного розміру, кількості та конструкції [16-17].

1.5 Різновиди охолоджувальних пристроїв

Доменні печі із чавунними охолодними плитами працюють із середини 1900-х років. Клепка являє собою охолодний пристрій, що має один або кілька внутрішніх водяних каналів, і встановлюється в кількості на внутрішній поверхні доменної печі для захисту сталевих оболонок від високотемпературного газу і розплавленої шихти в печі, а також підтримки профілю всередині печі. Три властивості, які в основному вимагаються від плити: довгий термін служби та надійність; відповідна охолоджувальна здатність та теплоізоляційна здатність [17, 21].

По-перше, це довговічність та надійність. Так як неможливо відремонтувати плиту зовні ДП через її конструкцію, при пошкодженні плити потрібно провести велику роботу із її заміни. Пошкоджені плити мають серйозний несприятливий вплив на роботу доменної печі, викликаючи тривалу зупинку дуття і падіння температури всередині печі

через витік води або зміну профілю, що може призвести до відмови в роботі. Тому для плит необхідний стабільний тривалий термін служби.

По-друге, відповідна здатність, що охолоджує. Для захисту корпусу від високотемпературного газу близько 1200°C рідких матеріалів необхідна відповідна охолоджувальна здатність плит. Оскільки для охолодження частини печі між заплечиками та нижньою частиною шахти, яка піддається дії високої температури, потрібна висока охолоджувальна здатність, в деяких випадках для цієї частини використовується мідна плита.

По-третє, теплоізоляційна здатність. Бажано, щоб доменна піч, в якій оксид заліза відновлюється і плавиться при високій температурі, мала теплоізоляційну структуру, щоб не марнувати теплову енергію даремно. З іншого боку, як описано вище, плити охолоджуються для збереження профілю всередині доменної печі та захисту оболонки. Отже, він видаляє теплову енергію з високотемпературного газу та матеріалу. Відведення тепла плитами пов'язане з витратою умовного палива (коксу), що безпосередньо викликає збільшення витрати відновника (RAR). Збільшення RAR може, у свою чергу, призвести до збільшення викидів вуглекислого газу та підвищення одиниці ціна рідкого чавуну. З цієї причини плити мають відповідну теплоізоляцію (обмеження відведення тепла), тобто здатність мінімізувати теплову енергію, що відбирається зсередини печі, а також відповідну охолоджувальну здатність. Зазвичай цегла з низькою теплопровідністю вбудовується в передню частину чавунної плити, щоб отримати як охолоджувальну, так і теплоізоляційну здатність. Тим часом, мідна плита використовується для формування теплоізоляційного шару напіврідкого матеріалу, розташованого перед пластинами, шляхом охолодження такого

матеріалу з високою охолоджувальною здатністю, щоб він прилипав до внутрішньої поверхні плит [13-17].

Охолоджувачі з плитами вперше почали розробляти приблизно в середині 1900-х років. Охолодження за допомогою чавунних плит спочатку було відкриттям колишнього Радянського Союзу, звідки воно спочатку потрапило до Індії та Японії. До 1970-х років чавунні охолоджувальні плити отримали світове визнання. З моменту появи чавунних охолоджувачів, розробка охолодження доменної прискорилася, і сьогодні доступний широкий спектр охолоджувачів, таких як пластинчастий охолоджувач, охолоджувач сигарний тощо, для внутрішнього охолодження корпусу печі відповідно до екстремальних умов напруги у сучасній великій високопродуктивній доменній печі. Перевага охолодження плитами перед охолодженням з плоскою пластиною полягає в ефекті загального охолодження плити порівняно з ефектом охолодження від точки до точки плоских пластинчатих та сигарних охолоджувачів. Це забезпечує більш рівномірне охолодження.

Для більшості діючих сьогодні доменних печей великої потужності інженери-конструктори вирішили використовувати в системі охолодження плитами, оскільки вони забезпечують інтенсивне і, головне, рівномірне охолодження печі. Класично плити виготовляються з високоміцного чавуну, який відливається навколо труб охолоджувальної води. Вони встановлюються по всьому кожуху печі від нижньої плити до верху. Однак часто плити піддаються сильним навантаженням, спричиненим високими тепловими навантаженнями, особливо в ділянках заплечиків та розпару, що може обмежити тривалість роботи печі. Це може призвести до втрати всього корпусу плити, залишившись лише водопровідні труби. Вважається, що проблемою може бути як теплопровідність чавунного матеріалу, так і теплопередача між трубопроводом і литим корпусом.

Навіть при найвідоміших системах охолодження нижня частина кожуха залишалася слабким місцем доменної печі [8-12].

Холодильні плити традиційно виготовлялися з чавуну, але доцільність їх виготовлення з міді, що має відмінну теплопровідність, була підтверджена в Німеччині приблизно в середині 1990-х років, і з того часу мідні холодильники стали використовуватися для кількох доменних печей. У 1993 році мідні клепки були вперше представлені в Німеччині на ДП № 2 компанії Thyssen Krupp у Швельгерні та ДП «В» у Зальцгіттері. Виготовлення холодильників із міді з використанням або просвердлених каналів для води замість труб, або створення відповідних каналів при виливці мідних плит виявилось важливим кроком у проектуванні сучасних доменних печей [8-12].

Теорію про те, що висока теплопровідність міді призводить до підвищеного розсіювання технологічного тепла, була спростована. Висока провідність міді призводить до низької температури поверхні та швидкого утворення тонкого шару, який знижує відведення тепла від печі. Охолодний ефект настільки інтенсивний, що протягом декількох хвилин навіть перед незахищеною клепкою утворюється захисний шар. Нещодавні результати показали, що рівень тепла, що видалається з печі, навіть нижчий, ніж при використанні чавунних плит [12-17].

Ізолюючий ефект таких шарів зводить втрати тепла до мінімуму. З цієї причини при заміні футерування доменної печі № 2 Stahlwerke Bremen перед клепками над фурмами не укладався постійний вогнетривкий матеріал. Точніше, пристрілявся тонкий, надутий захисний шар. Ці клепки виявилися настільки вдалимими, що сьогодні використання мідних плит у зоні підвищених теплових навантажень є найновішою технологією доменної печі. Нижня частина шахти більше не вважається обмежуючим чинником терміну служби доменної печі. Натомість стан

горну визначає тривалість терміну служби доменної печі. Сучасні охолоджувачі з мідними плитами ізолюють зовнішню оболонку від технологічного тепла, що виділяється у печах із високими навантаженнями. Тим не менш, залежно від того, де вони розташовані в доменній печі, вони піддаються різним рівням теплового навантаження.

Запорукою успішної роботи системи охолодження в ДП з високим тепловим навантаженням є формування нагару (горнісажу) на гарячій грані елемента, що охолоджує. Цей нагар складається із сконденсованих парів, затверділого шлаку і металу, який прикріплюється до поверхні охолоджуючого елемента, бризкаючи, капаючи і примерзаючи до неї. Товщина може змінюватись до 20 мм. Стабільність нагару в основному залежить від охолоджуючої здатності і механічного зчеплення охолоджуючого елемента, до якого він прилягає. Інтенсивність газового струменя біля стінки також впливає утримання нагару. Нагар є природним ізолятором через низький вміст металу. У періоди екстремального теплового навантаження (наприклад струмені газу високої температури або технологічні збої) горнісаж може відколотися, а потім знову утворитися. Падіння та наростання гарнісажу спричиняє значні коливання теплових навантажень на стінку печі з піковими навантаженнями в діапазоні від 300 000 Вт на квадратний метр (Вт/кв. м) до 500 000 Вт/кв. м [12-16].

Отже, конструкція футерування та охолодження зазвичай повинна витримувати такі теплові навантаження, щоб уникнути передчасних відмов. Детальні дослідження показали, що чим вища ефективність охолодження охолоджуючого елемента, тим стійкіший гарнісаж і тим довше він прилягає до охолоджуючого елемента та зберігає свої ізолюючі та захисні властивості. В результаті вискоефективні системи охолодження зазвичай призводять до нижчих загальних втрат тепла печі.

У той час як більшість доменних печей окремо стоять без опор на корпусі печі, деякі конструкції печей включають кожух, в якому піч підтримується з рівня землі або сталевими, або бетонними колонами. Використання кожуху зазвичай усуває ділянку розпару. Кожух є складовою конструкції цих печей і повинен бути захищений від перегріву. Охолодження футерування печі в зоні кожуха мідними плитами важко через обмежений доступ для заміни та необхідної довжини пластинчастих охолоджувачів. Використання плит у цьому районі має ту перевагу, що забезпечує повне охолодження рубашки. На рис. 1.4 показані система охолодження в кожусі, а також різні типи систем охолодження ДП [19-21].

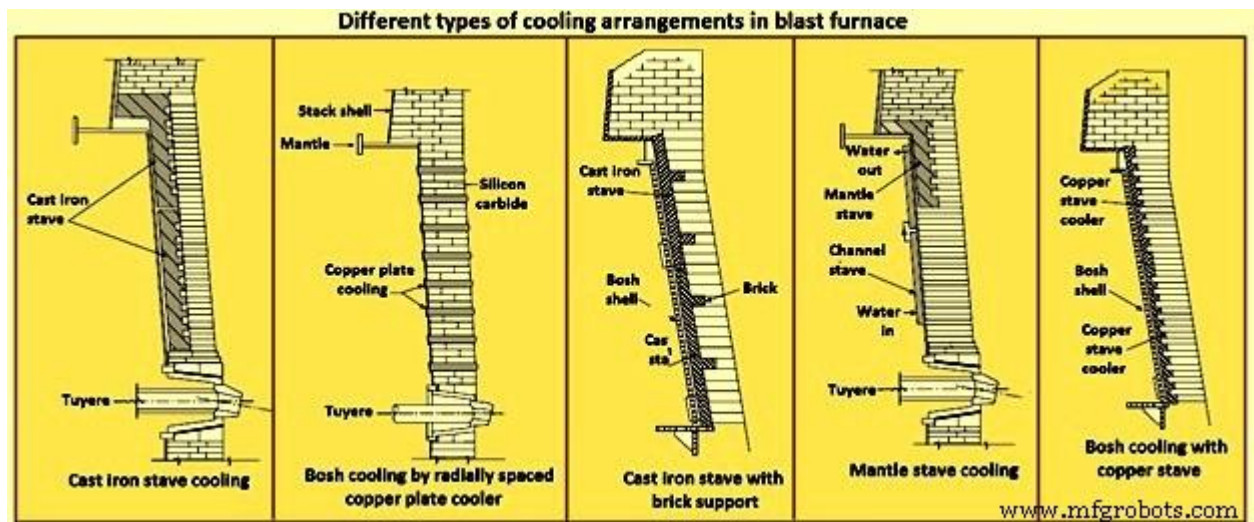


Рисунок. 1.4 - Різні типи охолоджувальних пристроїв у доменній печі

Сучасні доменні печі можуть мати продуктивність понад 3 тонни чавуну на кубічний метр робочого об'єму на добу. Такий рівень продуктивності в доменній печі досягається за рахунок використання покращених шихтових матеріалів, методів розподілу шихти, управління

технологічним процесом, високих температур гарячого дуття, збагачення киснем та допоміжного упрскування палива. Однак така практика високої продуктивності призводить до високих теплових навантажень та коливань теплових навантажень на стінки доменної печі. Хоча конкретна зона і величина пікових теплових навантажень можуть значно відрізнятися в зонах печі, розпар та нижня частина шахти зазвичай зазнають найвищих коливань тепла, як показано на рис. 1.5 [8, 21].

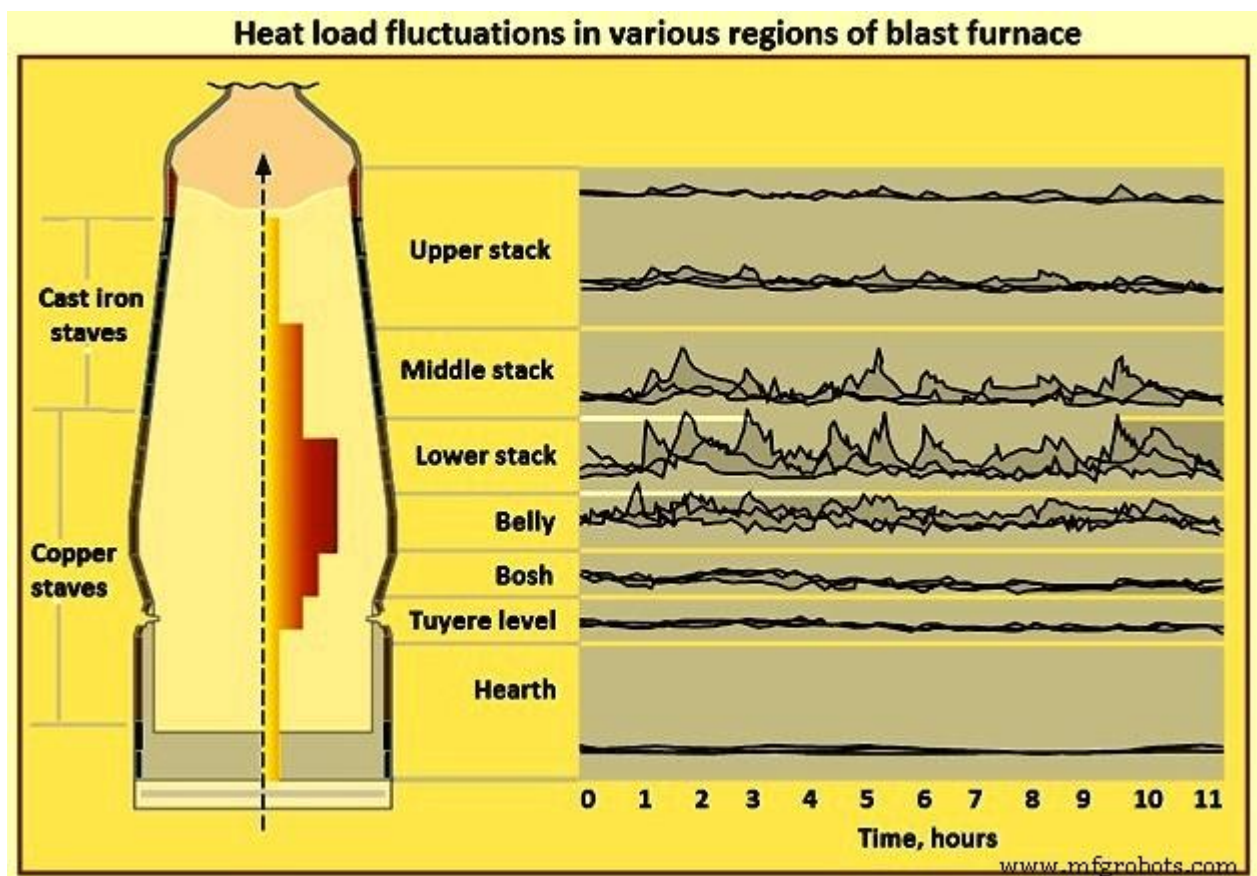


Рисунок. 1.5 - Розподіл температурних навантажень в зонах доменної печі

Зона, в якій відчувається найвище теплове навантаження, тісно пов'язана з положенням і формою когезійної зони та конкретною схемою

завантаження печі. Основною причиною великих теплових коливань є нерегулярні високошвидкісні газові струмені, які виділяються до стінок печі через коксові щілини в шихті. Високі та коливальні температури є основними навантаженнями, з якими доводиться справлятися охолоджуючим елементам у доменних печах. Було виявлено, що склад і якість шихти суттєво впливають на теплові навантаження та коливання тепла. Навантаження в печах із вмістом агломерату понад 70 % може призвести до пікових навантажень від 100 000 Вт/кв.м до 200 000 Вт/кв.м, тоді як шихта з високим відсотком окатишів або шматків може генерувати пікові теплові навантаження понад 400 000 Вт/кв.м. Залежно від очікуваного теплового навантаження необхідно застосовувати різні охолоджувальні елементи. Вкладка 1 надає огляд різних конструкцій охолодження та вогнетривів із їхніми максимальними можливостями пікового теплового навантаження [8-12].

Таблиця 1.1 - Різні конструкції охолодження та вогнетривів із їхніми максимальними можливостями пікового теплового навантаження

Тип	Пікове теплове навантаження, Вт/м ²
Пластинчасті охолоджувачі з глиноземними вогнетривами	50,000
Чавунні охолоджувачі першого покоління	100,000
Модернізовані (більш товсті) чавунні охолоджувачі з кількома водяними контурами охолодження	200,000
Пластинчастий охолоджувач, зі зменшеним кроком (300 мм) зі спеціальними вогнетривами	400,000
Високопродуктивні мідні охолоджувачі	50,000

1.6 Види охолоджуючих елементів

Для чавунних охолоджувачів спочатку використовувався легований перлітний пластинчастий сірий чавун, але в даний час його замінили ковким чавуном або високоміцним чавуном, так як він менш схильний до розтріскування при температурах вище 760°C . Нещодавно також пройшли успішні випробування сталеві плити замість чавунних. Охолодний ефект чавунних плит визначається розміром і формою труб, охолоджувальної води всередині охолоджувача. Типові розміри чавунних плит становлять від 1,8 до 2,4 м завдовжки, від 0,8 до 1,1 м завширшки і від 0,25 до 0,6 м завтовшки. Різні типи чавунних плит, що охолоджують, показані на рис. 1.6. Охолоджувачі типу С набагато тонші та призначені для економії місця всередині печі з метою збільшення її робочого об'єму.

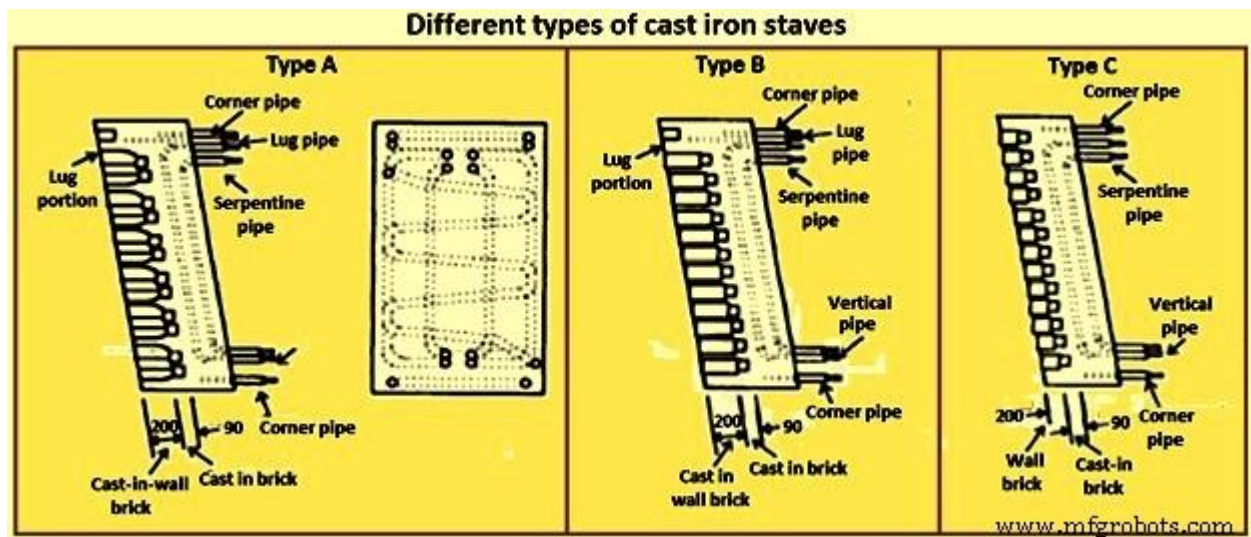


Рисунок 1.6 - Різні види чавунних охолоджувачів

З моменту придбання технології виготовлення чавунних охолоджувачів у колишнього Радянського Союзу в 1969 році японці

внесли різні вдосконалення для підвищення довговічності охолоджувачів. Вони включають звуження відстані між трубами та встановлення кутових труб охолодження та задніх змієподібних труб. Охолоджувачі четвертого покоління характеризуються тим, що вони мають дві площини охолодження, чотири вертикальні труби в площині гарячої сторони і одну змієподібну трубку в площині холодної сторони. Плити оснащені охолоджуваними носиками та/або кронштейном для опори з вогнетривких матеріалів. Крім того кути плит інтенсивно охолоджуються. Вогнетривкі матеріали заливаються в спеціальні опорні отвори в охолоджувачах. Удосконалення, внесені від першого до четвертого покоління чавунних охолоджувачів, показані на рис. 1.7.

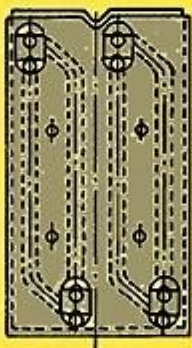
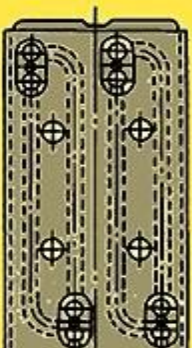

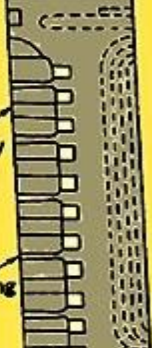
Improvements in cast iron stove coolers				
	First generation	Second generation	Third generation	Fourth generation
Construction				
Main Improvements		<ol style="list-style-type: none"> 1. Perpendicular bent corner pipe 2. Cooling with cold pure water 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Installation of corner cooling pipe 2. Installation of corner cooling pipe 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Use of monolithic stove-brick assembly 2. Reduction in wall thickness
Year of Introduction	~ 1969	~ 1974	~ 1977	~ 1985 www.mfrrobots.com

Рисунок 1.7 - Поліпшення в чавунних охолоджувачах

Середня очікувана тривалість служби чавунних охолоджувачів у ділянках заплечиків і шахти ДП становить від 8 до 10 років. Чавунні

охолоджувачі зазвичай виходять з ладу через втрату чавунного матеріалу та оголення внутрішнього зміювика труби. Чавун тріскається в процесі експлуатації через високі теплові навантаження, яким він піддається. Випадкові зазори між охолоджуючими трубками та чавуном зменшують кількість тепла, яке відводиться. Крім того, різниця між коефіцієнтами теплового розширення матеріалів трубки та власне охолоджувача може спричинити відокремлення заліза від трубки та руйнування охолоджувача. Використання чавунних охолоджувачів, у яких труби розташовані ближче до чавуну, ускладнює конструкцію корпусу, але не обов'язково збільшує термін служби системи охолодження [17-21].

Руйнування чавунних плит при високих змінних теплових навантаженнях пояснюється низькою теплопровідністю (близько 45 Вт/м.2) чавуну. Чавунні охолоджувачі мають нижчу ефективність охолодження порівняно з мідними через відносно низьку електропровідність чавуну та наявність ізоляційного шару. Цей шар утворює тепловий бар'єр між трубкою з водяним охолодженням і чавунним корпусом, зменшуючи теплопередачу. Неefективна теплопередача призводить до значно вищої температури гарячої поверхні чавунної плити (понад 700 °C) і подальшої термічної деформації чавунної плити. Чавунний корпус також зазнає фазових об'ємних перетворень при підвищених температурах, що призводить до втомного розтріскування, втрати матеріалу корпусу та прямого впливу тепла печі на сталеві охолоджувальні труби [17-20].

Мідні пластинчасті охолоджувачі, як описує назва, являють собою плоскі пластини, розташовані горизонтально в корпусі печі. Ці охолоджувачі з плоскими пластинами використовуються майже в усіх європейських доменних печах. Ці охолоджувачі або зварні, або відлиті з електролітичної міді. З останнім тоді немає проблем зі зварювальними

швами та є більша однорідність властивостей матеріалу по всьому охолоджувальному елементу. Цей тип охолоджувача зазвичай використовується в області від заплечиків до нижньої частини шахти включно. Зазвичай він призначений для підтримки високих швидкостей води в охолоджувачі, що забезпечує як рівномірний, так і високий коефіцієнт тепловіддачі. Типові мідні охолоджувачі з плоскою пластиною показані на рис. 1.8 [8-12].

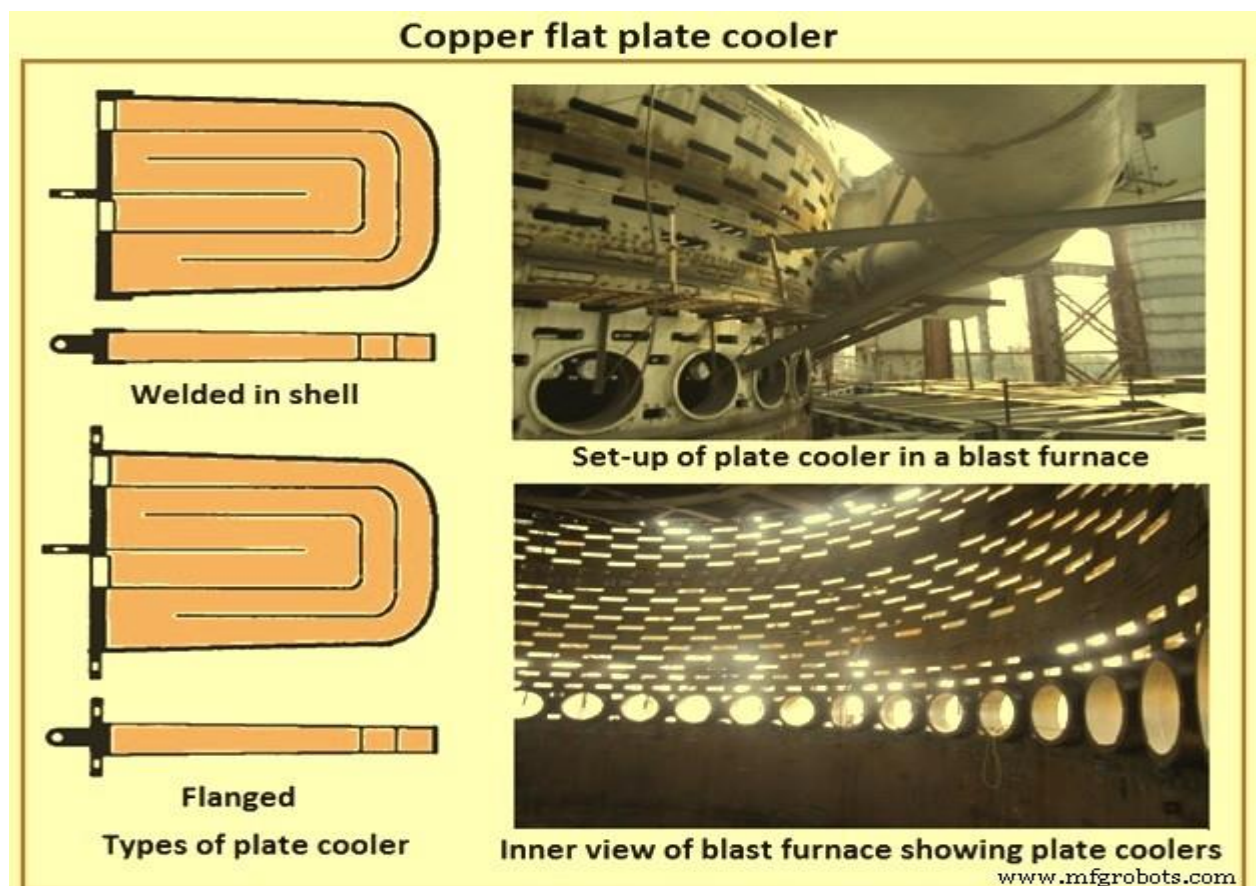


Рисунок 1.8 - Мідний плоский охолоджувач

Стандартні розміри мідних пластинчастих охолоджувачів мають довжину від 0,5 м до 1,0 м, ширину від 0,4 м до 0,8 м і висоту приблизно 75 мм. Вертикальна відстань між охолоджувачами становить від 0,3 м до

0,6 м. У зонах з високим тепловим навантаженням, особливо в заплечмках і нижній частині шахти, відстань часто зменшують до 0,25 м. Мідні плоскі охолоджувачі мають більшу однорідність властивостей матеріалу в порівнянні з охолоджуючим елементом у цілому. У тих ділянках ДП, які піддаються механічним пошкодженням, лицьова сторона охолоджуючих елементів зазвичай армується спеціальними матеріалами. Ці охолоджувачі здебільшого приварюються до корпусу доменної печі, щоб забезпечити газонепроникне ущільнення. Мідні охолоджувачі з плоскими пластинами зазвичай мають кілька каналів з однією або двома незалежними камерами. Забезпечуються мінімальні втрати тиску води як в трубопроводі, так і в самому елементі [8-12].

Деякі конструкції плоских мідних охолоджувачів мають шість проходів з однією камерою. Ці охолоджувачі розроблені для підтримки високих швидкостей води в охолоджувачі, таким чином мають рівномірний і високий коефіцієнт тепловіддачі [8-12].

Відмови в роботі мідних плоских охолоджувачів пояснюється чотирма механізмами відмови. Це (прогин, пошкодження зварного шва труби, порушення зварного шва пробки та стирання поверхні. Порівняння мідного пластинчастого охолоджувача з чавунним охолоджувачем наведено у таблиці 1.2 [8-12].

Сигарні охолоджувачі використовуються для більш інтенсивного охолодження або при недостатній наявній відстані між плоскими пластинчастими охолоджувачами. Вони також відомі як мідні рубашки. Сигарні охолоджувачі використовуються в відкритих областях між пластинчастими охолоджувачами, коли потрібне більш інтенсивне охолодження або недостатньо існуючої відстані між пластинчастими охолоджувачами. Вони також іноді використовуються для вдосконалення існуючої системи охолодження під час роботи. Сигарні охолоджувачі

зазвичай виготовляється з суцільного мідного стрижня, щоб утворити циліндричний сердечник, а один канал додається шляхом свердління та заглушки [15-21].

Таблиця 1.2 - Порівняння мідного пластинчастого охолоджувача з чавунним охолоджувачем

Опис	Одиниця виміру	Мідний пластинчастий охолоджувач		Чавунний охолоджувач	
		Середній	Максимальний	Середній	Максимальний
Питома площа поверхні охолоджуючого елемента на квадратний метр оболонки	м ²	1-2	2,5	0,8-1	1-2
Питома витрата охолоджуючої води на квадратний метр корпусу	м ³ /ч	5-10		3-5	
Швидкість руху охолоджуючої води	м/с	0,5-1	2-2,5	1-1,2	2,5-3

Сигарні охолоджувачі зазвичай вставляються в осьових лініях між сусідніми плоскими пластинами охолоджувачами в горизонтальній і вертикальній площинах. Для встановлення сигарних охолоджувачів зазвичай корончатим свердлом просвердлюють циліндричний отвір у корпусі печі та наявній вогнетривкій футерівці. Використання сигарних охолоджувачів заплечиках, розпарі та нижній частині шахти збільшує площу системи охолодження. Оскільки ці зони доменної печі мають найвищі температури та температурні коливання, використання сигарних охолоджувачів може підвищити стійкість вогнетривкої футеровки до хімічного та механічного впливу. Однак, оскільки використання сигарних охолоджувачів призводить до збільшення отворів у топці, перед

використанням необхідно перевірити міцність кожуху печі. Типовий сигарний охолоджувач і його розташування між пластинчастими охолоджувачами, як видно з зовні корпусу печі, показано на рис.1.9.

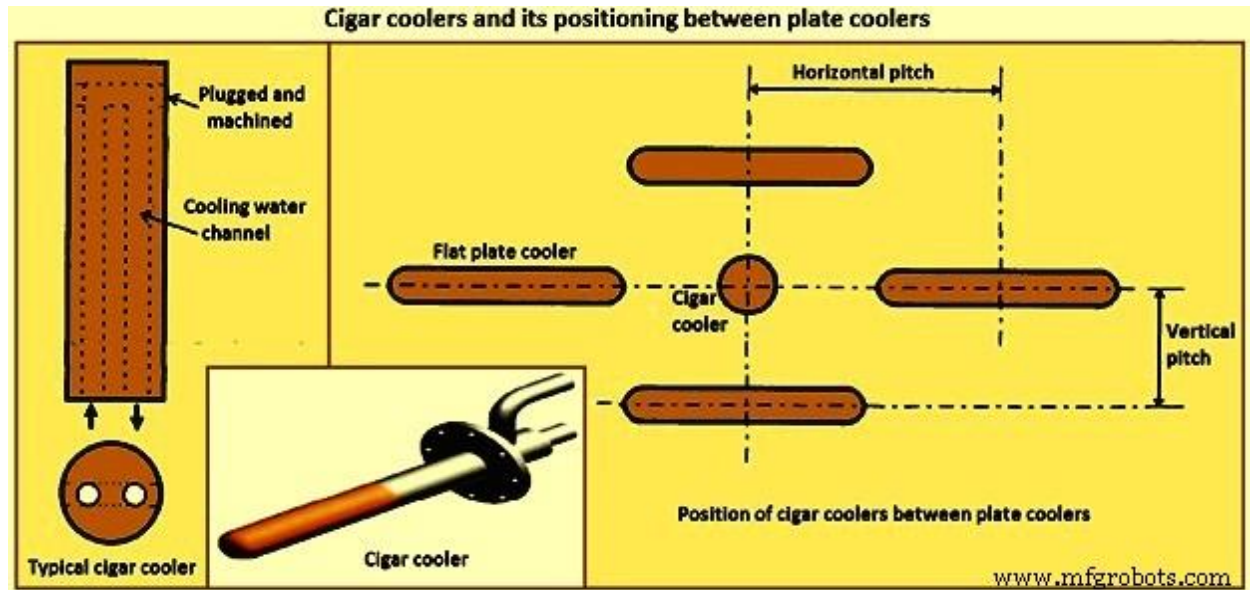


Рисунок 1.9 - Сигарний охолоджувач і його розташування між пластинчастими охолоджувачами

Мідні охолоджувачі вперше були використані в доменних печах наприкінці 1970-х як найкращий настінний охолоджуючий елемент із високим тепловим навантаженням. У міру того, як продуктивність BF підвищилася, а бажаний термін служби кампанії збільшився до 20 років, стало очевидно, що мідні келихи мають найкращий потенціал для задоволення або перевищення цих вимог. Незважаючи на те, що використання мідних палиць стало поширеним у середині 1990-х років, більшість установок було встановлено у 2000 році або після нього. Розробка мідних палиць проводилася як в Японії, так і в Німеччині для використання в регіоні бош, черево та нижні стек, щоб справлятися з

високими тепловими навантаженнями та великими коливаннями температур. У той час як Японія віддала перевагу литим мідним клепкам, німецькі мідні клепки являють собою катані мідні пластини з близькими зовнішніми допусками та свердліннями, зробленими для охолодження. Просвердлені та заглушені мідні штанги зазвичай призначені для чотирьох водопровідних труб, розташованих по прямій лінії вгорі, і чотирьох водопровідних труб, розташованих по прямій лінії знизу. Матеріали для внутрішніх змійовиків труб включають монель, мідь або сталь. На відміну від чавунних штанг, мідні планки призначені для кріплення до труби охолодження [15-21].

Водяний канал мідного охолоджувача формувався здебільшого шляхом свердління отвору в катаній мідній пластині та зварювання водопровідних трубок на кінцях отвору, а іноді він формувався шляхом лиття з використанням одноразового піщаного сердечника, однак роботи зі зварювання міді були незамінними в обох випадках. У той час як звичайні мідні «холодильники» показали чудову охолоджувальну здатність, їх виготовлення вимагало кількох робочих етапів, а отже, вони були дорогими [8-12].

В даний час найпопулярнішим типом мідного охолоджувача є мідний прокат, процес виготовлення якого полягає в свердлінні отворів на мідній пластині. Кінці водяного каналу приварені до плити електрозаклепками. Розроблений мідний штамп для литих сталевих труб виготовляється шляхом заливання гнутих сталевих труб у мідь, що повністю відрізняється від процесу виготовлення звичайного прокату з міді. Цей унікальний спосіб виробництва дозволив досягти високої енергоефективності та тривалого терміну експлуатації доменних печей, чого неможливо досягти при використанні мідного прокату [8-10].

Прокатні мідні охолоджувачі іноді мають три проблеми, а саме деформацію, розтріскування зварних швів через термічну втому та знос. Перша проблема – це деформація. Катані мідні плити деформуються через різницю в тепловому розширенні між внутрішньою поверхнею охолоджувачів, яка піддається впливу високотемпературного газу, та зовнішньою поверхнею холодильника, яка охолоджується. Вони серйозно деформуються, коли планка надто довга або коли положення кріпильних болтів невідповідне. Така деформація може призвести до зносу виступаючої частини та руйнування зварного шва внаслідок впливу високотемпературного газу, що надходить до стрижневих з'єднань і задніх поверхонь. Друга проблема – розтріскування швів. Через термічну втому це відбувається, оскільки зварні шви катаних мідних стрижнів піддаються повторним термічним навантаженням. Через коливання температури катані мідні охолоджувачі розтріскуються та руйнуються. Третя проблема - знос. Залізна руда, агломерат і кокс мають вищу твердість, ніж мідь. Ці матеріали стирають мідні охолоджувачі, коли вони контактують з поверхнею охолоджувачів і опускаються. Загалом швидкість зношування мідної плити залежить від контактної сили та швидкості падіння матеріалу, що контактує з поверхнею пластини, твердості міді та матеріалу, а також форми матеріалу [8-10].

3 ОХОРОНА ПРАЦІ В ДОМЕННОМУ ЦЕХУ

3.1 Основні напрямки забезпечення безпечних умов праці

Виконання всіх технологічних операцій, повинно проводитись у суворій відповідності до вимог «Правил охорони праці в металургійній промисловості» НПАОП 27.0-1.01-08, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22.12.28. №289; - Правил безпеки в доменному виробництві» НПАОП 27.1-1.02-97:

ГОСТ 12.2.003-91 - «Устаткування виробниче. Загальні правила безпеки».

ГОСТ 12.3.002-75 - «Процеси виробничі. Загальні правила безпеки».

ДСТУ ГОСТ 12.2.061-2009 «Система стандартів безпеки праці. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць».

ГОСТ 12.3.009-76 - «Система стандартів безпеки праці. Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки».

ГОСТ 12.2.065-81 «Крани вантажопідйомні. Загальні вимоги безпеки», а також діючих в доменному цеху і цеху КВПіА інструкцій з охорони праці».

До виконання робіт з експлуатації систем водяного охолодження доменних печей допускаються працівники, які пройшли навчання з питань охорони праці та «Правила безпеки в газовому господарстві підприємств чорної металургії»; медичний огляд, які не мають протипоказань до виконання робіт у газонебезпечних місцях; які вміють користуватися газозахисними апаратами та мають посвідчення на право виконання газонебезпечних робіт; проведено інструктажі та ознайомлено з приписами заводу виробника про правильне використання обладнання [32].

Персонал енергослужби доменного цеху який забезпечує безпечне виконання робіт з експлуатації систем водяного охолодження доменних печей та повітрянагрівачів зобов'язаний дотримуватись вимог наступних документів:

Положення про систему управління охороною праці у ПАТ «Запоріжсталь»; НПАОП 27.1-1.09-09 "Правила охорони праці в газовому господарстві підприємств чорної металургії";

НПАОП 27.1-1.02-97 "Правила безпеки в доменні виробництві"; НПАОП 27.0-1. ОІ -08 «Правила охорони праці в металургійній промисловості»;

НПАОП 0.00-1.04-07 «Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання»;

НПАОП 0.00-1.29-97 "Правила захисту від статичної електрики";

І-УООС-01-2015 «Поводження з відходами на ПАТ «Запоріжсталь»;

Закон України "Про охорону атмосферного повітря" №2707-ХІІ від 16.10.92;

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» №1264-ХІІ від 25.06.91;

«Реєстра ідентифікації небезпек та оцінки ризиків доменного цеху»;

«Реєстра екологічних аспектів доменного цеху»;

«Кардинальні правила охорони праці та промислової безпеки»;

«Аналізу безпеки виконання робіт»;

А також дотримуватись вимог наступних інструкцій інструкції з охорони праці:

№0.01 «Загальні вимоги безпеки для всіх працівників ПАТ «Запоріжсталь»;

інструкції з охорони праці №0.06 застосування біркової системи;

інструкції з охорони праці № 0.14 для робітників, які проводять

прибирання сміття, шлаку, снігу на залізничних коліях, автомобільних дорогах, тротуарах та благоустрою території цехів комбінату;

інструкції з охорони праці №0.20 під час експлуатації та ремонту об'єктів газового господарства;

інструкції з охорони праці №0.51 щодо надання долікарської допомоги; інструкції з охорони праці № 02.07 для слюсаря-ремонтника доменного цеху;

інструкції з охорони праці № 02.12 для водопровідника доменної печі; інструкції з охорони праці №02.14 для електрика ремонту та обслуговування електрообладнання доменного цеху. [28-32]

На виробничих ділянках доменного цеху відповідно до "Реєстру ідентифікації небезпек та оцінки ризиків" можлива дія наступних шкідливих та небезпечних виробничих факторів:

- підвищена температура обладнання, матеріалів;
 - наявність рідкого чавуну;
 - інфрачервоне та світлове випромінювання (ГДК Вт/м²);
 - стиснене повітря, газоподібний кисень;
 - чадний газ (ГДК = 20мг/м³);
 - природний газ (ГДК = 0,5%);
 - сірководень (ГДК=1 Омг/м³);
 - підвищена запыленість повітряного середовища робочої зони (ГДК 4,0 мг/м³);
 - підвищена чи знижена температура повітря у робочій зоні (оптимальна температура 13-19 0С);
 - підвищена рухливість повітря (ГДК не більше 0,5 м/сек);
- підвищений рівень шуму (ГДК = 80,0 дБ).
- рухомі машини і механізми (залізничний і автомобільний транспорт, чавуновозні ковші, що рухаються, вантажі, що рухаються,

рухомі частини механічного обладнання) [32].

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинен перевищувати встановлених норм (ГДК) згідно з ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні норми повітря робочої зони" . Контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони, пилу, параметрів мікроклімату, рівня шуму здійснюється на робочих місцях лабораторією охорони навколишнього середовища шляхом відбору проб повітря та проведення вимірювань» [23-25].

Газонебезпечні місця та роботи в залежності від характеру та ступеня забруднення повітря шкідливими речовинами поділяються на чотири групи.

До першої (I) групи належать місця, де короточасне перебування людей без газозахисної апаратури смертельно небезпечно.

Роботи, що виконуються в цих місцях, відносяться до I групи і повинні проводитися за нарядом-допуском не менше ніж двома навченими робітниками в газозахисній апаратурі під наглядом газорятувальників [23-25].

До другої (II) групи належать місця, де вміст токсичних газів і пари в повітрі перевищує ГДК і де тривале перебування людей без газозахисної апаратури смертельно небезпечно [23-25].

Роботи, що виконуються в цих місцях, відносяться до II групи і повинні проводитися за нарядом-допуском не менше ніж двома навченими робітниками під наглядом газорятувальника, за наявності газозахисної апаратури, необхідність застосування якої визначається відповідальним керівником залежно від вмісту шкідливих речовин.

До третьої (III) групи належать місця, де можлива поява токсичних газів і пар у кількостях, що перевищують ГДК [23-25].

Роботи, що виконуються в цих місцях, за умови відсутності газовиділень, відносяться до III групи і повинні виконуватись постійним

обслуговуючим персоналом без наряду-допуску. При цьому повинні бути обладнані шафи, в яких зберігається газозахисна апаратура, яка використовується персоналом у разі виникнення ймовірності або виявлення перевищення вмісту шкідливих речовин у повітрі проти ГДК.

Одноразові роботи, що виконуються в місцях III групи за участю працівників сторонніх організацій або персоналу інших цехів, повинні проводитись за нарядом-допуском [23-25].

Газорятувальники повинні проводити періодично обхід робочих місць та відбір проб повітря (для визначення у ньому шкідливих речовин) відповідно до графіка.

До четвертої (IV) групи належать місця, де є або можливі виділення природного газу. Роботи, що виконуються в цих місцях, відносяться до IV групи і повинні проводитись за нарядом-допуском під наглядом газорятувальників. Необхідність застосування газозахисної апаратури визначається залежно від вмісту кисню у повітрі [23-25].

У газонебезпечних місцях IV групи за відсутності газовиділень допускається експлуатація газового обладнання постійним обслуговуючим персоналом без наряду-допуску. У цих місцях мають бути шафи для зберігання газозахисної апаратури. Газорятувальники повинні проводити обхід цих місць та відбір повітря для визначення вмісту в ньому кисню за графіком [23-25].

Роботи з ліквідації аварій повинні проводитись відповідно до плану ліквідації аварій без оформлення наряду-допуску. Після усунення безпосередньої небезпеки для людей роботи з приведення газового обладнання та газопроводів у нормальний технічний стан повинні проводитись за нарядом-допуском.

Кожен робочий цеху має бути ознайомлений під розпис з усіма групами газонебезпечних місць у цеху та правилами робіт у них [28-31].

3.2 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів на ділянці доменного цеху

Як видно з попереднього розділу основними шкідливостями та небезпеками на ділянці охолодження доменної печі є: надлишок електромагнітного випромінювання та тепла, недостатнє освітлення, можливість ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом.

З метою усунення або зменшення вказаних шкідливостей та небезпек на обслуговуючий персонал відділення проектом передбачається наступні заходи: для зниження пилеутворення та запиленості робочих місць, застосовується герметизація та аспірація устаткування та робочих місць; у наслідок виділення великої кількості надмірного тепла застосовуємо значний повітрообмін, використовуються відповідні засоби індивідуального захисту та спецодяг; для зниження електромагнітного випромінювання будуть використанні електромагнітні екрани.

Проектом передбачається розрахунок екранування робочих місць та вентиляції, розрахунок яких приводяться нижче.

Розрахунок захисного екрану від електромагнітного випромінювання.

Розрахуємо товщину мідного екрану для захисту від електромагнітних полів на відстані 3м від випромінювання. Імпульсна потужність 100 кВт, середня за часом потужність 400 Вт, довжина хвилі – 3м.

Визначимо частоту електромагнітного випромінювання, якщо відома довжина хвилі:

$$f = c/\chi \quad (3.1)$$

де χ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання;

c – швидкість розповсюдження електромагнітних обурень;

f – частота електромагнітних коливань, Гц.

$$f = 300000000/3 = 100000000 \text{ Гц} = 100 \text{ МГц.}$$

Визначаємо час, протягом якого діє імпульсна потужність:

$$P_{\text{імп.}} / P_{\text{ср.}} = 8\text{ч} / t; \quad t = 480 \cdot 0.4 / 100 = 2 \text{ хв} \quad (3.2)$$

$$I_{\text{імп.}} = P_{\text{імп.}} / 4 \cdot \pi \cdot R^2 = 100000 / 4 \cdot 3.14 \cdot 9 = 884 \text{ Вт/м}^2 = 88400 \text{ мкВт/см}^2$$

$$I_{\text{ср.}} = P_{\text{ср.}} / 4 \cdot \pi \cdot R^2 = 400 / 4 \cdot 3.14 \cdot 9 = 3.5 \text{ Вт / м}^2 = 350 \text{ мкВт / см}^2$$

Згідно ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань, оскільки робоче місце знаходиться від випромінювача на відстані, рівному довжині хвилі, тобто в зоні випромінювання, то нормування ведеться по щільності потоку потужності. При дії електромагнітного випромінювання протягом всього робочого дня допустима щільність потоку потужності складає до $0,1 \text{ Вт / м}^2$ (до 10 мкВт / см^2); при дії не більше 2 годин – від $0,1$ до $1,0 \text{ Вт / м}^2$; при дії не більше 20 хвилин допускається від $1,0$ до $10,0 \text{ Вт / м}^2$ (від 100 до 1000 мкВт / см^2), але з обов'язковим використанням захисних окулярів. В решту часу роботи щільність потоку енергії не повинна перевищувати $0,1 \text{ Вт / м}^2$.

Таким чином, необхідний ступінь екранування на робочому місці при імпульсній дії електромагнітного поля складе:

$$E_{\text{ст}} = I_{\text{оімп}} / [I_{\text{зімп}}] = 88400 / 1000 = 88,4 \text{ разів.} \quad (3.3)$$

де $E_{\text{ст}}$ – ступінь екранування у відносних одиницях;

$I_{\text{оімп}}$ та $I_{\text{зімп}}$ – щільність потоку енергії до і після мідного екрану відповідно.

Визначимо необхідну товщину мідного екрану, створюючого ослаблення щільності потоку енергії в 88,4 разів.

$$E \geq e^{d/\delta}; \lg E = (d/\delta) * \lg E; \lg 88.4 = (d/0,035) * \lg 2,72; \quad (3.4)$$

$$1,948 = (d/0,035)*0,434; d = 1,948*0,035/0,434 = 0,157\text{мм.}$$

З міркувань міцності приймаємо товщину мідного екрану: $d = 0,5$ мм.

Розрахунок вентиляції.

Визначимо необхідний повітрообмін та його кратність для вентиляційної системи на ділянці охолодження доменної печі розміри якого $60 \times 12 \times 6$ м. В повітряне середовище на ділянку охолодження доменної печі виділяється пил в кількості $W = 120$ г/год, концентрація пилу в робочій зоні $C_{p.z.} = 2,8$ мг/м³, в приточному повітрі $C_p = 0,3$ мг/м³, концентрація пилу у віддаленому від ділянки охолодження доменної печі повітрі рівна концентрації її в робочій зоні ($C_{yx.} = C_{p.z.}$), тобто пил рівномірно розподіляється в повітрі. Кількість повітря, відбираемого з робочої зони місцевими відсосами – $G_m = 1500$ м³/год.

Об'єм ділянки охолодження доменної печі:

$$V = L * B * H = 60 * 12 * 6 = 4320 \text{ м}^3. \quad (3.5)$$

Необхідний повітрообмін:

$$G_{пр} = G_m + (W - G_m * (C_{p.z.} - C_p)) / (C_{p.z.} - C_p) = 1500 + (120 * 10^3 - 1500 * (2.8 - 0.3)) / (2.8 - 0.3) = 24658 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.6)$$

Кратність повітрообміну на ділянці охолодження доменної печі:

$$K = G_{пр} / V = 24658 / 4320 = 11.1 \text{ год}^{-1} \quad (3.7)$$

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було порівняно доменні печі №2 та №4 ПАТ «Запоріжсталь» які мають майже однакову систему охолодження проаналізовано можливість заміни чавунних холодильників на мідні в районі заплечиків доменної печі. В результаті розрахунків та аналізу доведено доцільність зазначеної модернізації, так як це знижує теплові навантаження в районі заплечиків, які є однією з критично теплонавантажених зон печі. Що в свою чергу позитивно впливає на стабільність роботи доменної печі та ефективність плавлення чавуну. У зв'язку із збільшенням вдування пиловугільного палива на ... кг/т чавуну у через знижені теплові навантаження та зменшення витрат коксу на кг/т чавуну було також безпосередньо зменшено собівартість продукції. Та зменшено міжремонтні простої печі, через заміну холодильників заплечиків що призвело до збільшення її продуктивності.

Таким чином, очікуваний економічний ефект від впровадження від пропонованої модернізації грн на рік. Загальні витрати на модернізацію грн. Це дозволяє зробити висновок, що орієнтовна окупність проекту буде складати місяців. Це вказує на високу ефективність оновлення. Таким чином, аналіз дослідження підтверджує ефективність використання мідних холодильників у доменній печі. Це сприяє покращенню енергоефективності, а також забезпеченню багатолітньої стабільності обладнання, що є стратегічно важливим для галузі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доменний процес / Ковшов В.М., Дишлевич І.Й., Петренко В.О. та ін.. – Дніпропетровськ : Інститут Технології, 1998. - 212 с
2. Пліскановський С.Т., Полтавець В.В. Устаткування та експлуатація доменних печей: Підручник. –Дніпропетровськ: Пороги, 2004. – 495 с.
3. Шатоха В.І. Сталий розвиток чорної металургії: Монографія. Дніпропетровськ: "Дріант", 2015. - 184 с.
4. Бочка В.В., Іващенко В.П., Тараканов А.К., Бочка С.В., Суліменко С.Є. Конструкції доменних печей: Навч. посібник /. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 146 с.
5. Селегей А.М., Іващенко В.П., Безшкуренко О.Г. Аналіз сучасних теоретичних та технологічних методів і обладнання та перспектив розвитку завантаження доменних печей. №4,2022
6. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Теорія і технологія доменного процесу» для студентів напряму 6.050401 Металургія /Укл.: Крячко Г.Ю. – Дніпродзержинськ; ДДТУ, 2014р., стор.
7. Кравченко О.В. Металургія чавуну: навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 280 с.
8. Латишев О.В. Ефективність використання мідних холодильних плит у доменних печах // Металургія України. – 2023. – №3. – С. 45-58.
9. Металургія чавуну: підручник / за ред. В.П. Ковальчука. – Запоріжжя: ЗДІА, 2020. – 340 с.
10. Науково-технічний журнал "Металургія". – 2024. – Вип. 2.
11. Технологічний регламент доменного цеху ПрАТ "Запоріжсталь". – Запоріжжя, 2024.

12. Горбачов В.А. Новітні технології охолодження доменних печей. – Харків: Основа, 2019. – 256 с.
13. Технічна документація ThyssenKrupp AG щодо використання мідних холодильників у доменних печах. – 2023.
14. Kumar, A., & Singh, R. (2016). "Enhancement of Blast Furnace Cooling Systems for Improved Durability." *International Journal of Metallurgical Engineering*, 7(2), 45-52.
15. Petrenko, V., & Ivanov, S. (2017). "Innovative Approaches to Cooling System Optimization in Blast Furnaces." *Metallurgical Processes and Technologies*, 9(3), 112-119.
16. Zhang, Y., Li, H., & Wang, J. (2018). "Advanced Cooling Techniques for Prolonging Blast Furnace Hearth Life." *Journal of Iron and Steel Research International*, 25(4), 345-352.
17. Сидоренко, О. П., & Коваленко, М. В. (2019). "Модернізація систем охолодження доменних печей з метою підвищення їх надійності." *Металургійна та гірнича промисловість*, (6), 23-29.
18. Lee, S., & Kim, D. (2020). "Numerical Analysis of Cooling Plate Performance in Blast Furnaces." *Steel Research International*, 91(7), e2000123.
19. Гончаренко, П. І., & Лисенко, В. Г. (2021). "Дослідження ефективності нових матеріалів для охолоджувальних елементів доменних печей." *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, (32), 56-62.
20. Martinez, A., & Garcia, L. (2022). "Improving Blast Furnace Cooling Systems: A Review of Recent Developments." *Materials Science Forum*, 1034, 89-95.
21. Новак, І. С., & Бойко, Д. М. (2023). "Підвищення стійкості охолоджувальних пристроїв доменних печей шляхом застосування

композитних матеріалів." Наукові праці Донецького національного технічного університету, (1), 77-83.

22. Smith, J., & Brown, T. (2015). "Thermal Management Strategies in Blast Furnace Cooling Systems." *Journal of Thermal Engineering*, 6(2), 210-218.

23. НПАОП 27.0-1.01-08 – «Правила охорони праці в металургійній промисловості».

24. НПАОП 27.1-1.02-97 – «Правила безпеки в доменному виробництві».

25.НПАОП 27.1-1.09-09 – «Правила охорони праці в газовому господарстві підприємств чорної металургії».

26. НПАОП 0.00-1.04-07 – «Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання».

27. ГОСТ 12.2.003-91 – «Устаткування виробниче. Загальні правила безпеки».

28. ГОСТ 12.3.002-75 – «Процеси виробничі. Загальні правила безпеки».

29. ДСТУ ГОСТ 12.2.061-2009 – «Система стандартів безпеки праці. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць».

30. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» №2707-ХІІ від 16.10.92.

31. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» №1264-ХІІ від 25.06.91.

32. Положення про систему управління охороною праці у ПАТ «Запоріжсталь».

ПУБЛІКАЦІЯ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ



International scientific conference

**MININGMETALTECH 2024 – THE MINING
AND METALS SECTOR: INTEGRATION
OF BUSINESS, TECHNOLOGY
AND EDUCATION**

November 28–29, 2024

Volume 1



International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024, Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. 368 pages.

Program Committee

Chairman of the program committee of the conference – Yuriy RYZHENKOV, General Director, METINVEST HOLDING LLC

Vice-chairman of the program committee of the conference – Oleksandr POVAZHNY, DSc (Economics), Professor, Rector, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Secretary of the program committee of the conference – Maksym KARAKAI, PhD (Public Administration), Scientific Secretary, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Oleksandr MYRONENKO – Operations Director, METINVEST HOLDING LLC

Tetyana PETRUK – Director of sustainable development and interaction with personnel, METINVEST HOLDING LLC

Olga OVCHYNNIKOVA – Director of economics and development of business systems, METINVEST HOLDING LLC

Yuliya DANKOVA – Financial director, METINVEST HOLDING LLC

Svitlana ROMANOVA – Director of legal support, METINVEST HOLDING LLC

Andriy YEMCHENKO – PhD (Engineering), Director of technical development, METINVEST HOLDING LLC

Dmytro TEVELEV – Adviser to the general director, METINVEST HOLDING LLC

Oleksandr PODKORYTOV – Director of technology and quality, METINVEST HOLDING LLC

Pavlo UZBEK – Director of the LP, IS, HC and EP department, METINVEST HOLDING LLC

Vitaly KOVALENKO – Director of the Department of Sustainable Development and Environmental Management, METINVEST HOLDING LLC

Maryia VASILYEVÁ – General director, “Metinvest Sishstal” LLC

Gregory MASON – member of the Supervisory Board

Andrii KOSTRYZHEV – Project Manager – Material Characterization Scientist, The University of Queensland

Conference organizing committee

The head of the organizing committee of the conference – Volodymyr KUKHAR, DSc (Engineering), Professor, Vice-rector for research work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Deputy head of the conference organizing committee – Nataliya REKOVA, DSc (Economics), Professor, First vice-rector – vice-rector for educational work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Secretary of the organizing committee of the conference – Khrystyna MALII, PhD (Engineering), Head of the research department, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Volodymyr PASHYNSKY – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Materials Science and Applied Mechanics, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Vyacheslav KAMENETS – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mining, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Pavlo SAHAIDA – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleksiy KOYFMAN – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation, Electrical and Robotic Systems, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleg KRUZHYLKO – DSc (Engineering), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro PIKARENIA – DSc (Geology), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Nataliia HRUDKINA – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Natural Sciences and General Engineering, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro ZHERLITSYN – DSc (Economics), Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Each author is responsible for content and formation of his/her materials.

The reference is mandatory in case of republishing or citation.

CONTENTS

PROSPECTS FOR METALLURGICAL PRODUCTION TECHNOLOGIES

Modern equipment for complex metallurgical processing of aluminum-containing scrap and waste Aleksyeyenko V.V., Sezonenko O.B.	15
Compaction behavior of alsiini powders with different morphologies Bevz V.P., Zrodowski Lukasz, Tarasyuk A.L., Zavidovev A.V.	19
Analysis of the content of impurities in copper bull obtained using different technologies Bevz O.O.	21
Improving the efficiency of burden distribution in a blast furnace Boiko M.M., Kopytko O.H., Omelchenko M.M.	23
Justification of the possibility of agglomerate formation of specified composition and properties Bochka V.V., Yaholnyk M.V.	25
«Green» metallurgy: problems, prospects and forecasts Vodennikova O.S., Pishchenko K.A.	27
Sources of nitrogen consumption in metal Volzhyn D.O., Kustikov V.V., Stoianov O.M, Malii Kh.V.	31
Dissolution of nitrogen in steel Volokh S.V., Stoianov O.M	33
Improvement of technological rolling modes in edge rolls Gribkov E.P., Lipatov K.V., Kalenkov O.F.	36
Automated design of the composition of the rolling stand equipment Gribkov E.P., Kryukov R.Ye.	39
Experimental study of the influence of the surface conical defects of the rod on the quality of the wire manufactured Dolzanskiy A.M., Petlovaniy E.A., Bondarenko O.A., Brahyunskiy O.B.	41

DOI

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF BURDEN DISTRIBUTION
IN A BLAST FURNACE**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ
ШХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ В ДОМЕННІЙ ПЕЧІ**

Boiko M.M.,
*PhD (Engineering), Associate
Professor, LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Корутко О.Н.,
*student (group 136A-23-1a),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Omelchenko M.M.,
*student (group 136A-23-1a), LLC
"Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бойко М.М.
*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Копицько О.Г.,
*студент гр. 136А-23-1а,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Омельченко М.М.,
*студент гр. 136А-23-1а,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Одним із головних факторів ефективної роботи доменної печі є раціональне завантаження шихтових матеріалів. Існують завантажувальні пристрої різної конструкції, втім на сьогодні ефективним рішенням для досягнення необхідного розподілу матеріалів є використання безконусного завантажувального пристрою.

Найпоширеніші безконусні завантажувачі пристрої лоткового типу. Для забезпечення вимог технології завантаження матеріалів у доменну піч завантажувачі пристрої лоткового типу мають наступні конструктивні елементи [1]:

– приймальний бункер, який використовується для прийому та спрямування потоку шихти із скіпа в бункер завантажувального пристрою;

– верхня газова запірна арматура, що призначена для зв'язку бункерів з атмосферою під час їх завантаження та запирання під час вивантаження матеріалів в піч;

– завантажувальний бункер, який призначений для початку та закінчення завантаження матеріалів в доменну піч;

– ваговимірвальна система, що призначена для зважування та контролю масової витрати при завантаженні шихти з бункера в доменну піч, а також для контролю наявності шихтового матеріалу в бункері;

– блок донних газоушільнювальних пристроїв, з яких засувний затвор призначений для утримання матеріалу в бункері та регулювання його надходження з бункера, а донний клапан призначений для з'єднання бункера з доменною піччю при вивантаженні матеріалу;

– розподільник шихти, який за рахунок різної швидкості обертання і зміни кута нахилу лотка дозволяє розподіляти шихтові матеріал по колу та радіально по колошнику доменної печі.

Основною перевагою лоткового безконусного завантажувального пристрою перед конусним є можливість спрямованого завантаження матеріалів по всьому перерізу колошнику будь-якого діаметру в будь-яку точку, включаючи центр. Правильне завантаження доменної печі, в свою чергу, дозволяє уникнути ряду проблем, пов'язаних з роботою печі, в тому числі утворення периферійних газових каналів і підвісання шихти, що в свою чергу впливає на продуктивність доменної печі і тривалість її кампанії, а також підвищує її ефективність та екологічність за рахунок зменшення пилотної витрати коксу.

Регулювання розподілу шихти є одним із найважливіших способів керування доменною плавкою, оскільки забезпечує безперерйну роботу печі з максимально можливим використанням хімічної та теплової енергії газового потоку. Технологічні можливості безконусних завантажувальних пристроїв лоткового типу щодо формування раціонального розподілу матеріалів багато в чому визначаються функціональними особливостями відповідної автоматизованої системи керування [2]. Сучасне програмне забезпечення дозволяє розширити функціональні можливості системи завантаження, що забезпечує оперативний і раціональний розподіл шихтових матеріалів, спрямований на досягнення найбільшої ефективності доменної плавки.

Перелік використаних джерел

1. Blast Furnace Charging System. URL: <https://www.mheavytechnology.com/news/blast-furnace-charger/> (дата звернення: 30.10.2024).

2. Yang Y.; Yin Y.; Wunsch D.; Zhang S.; Chen X.; Li X.; Liu K. Z. Development of Blast Furnace Burden Distribution Process Modeling and Control. *ISIJ International*. 2017. Vol. 57. № 8. P. 1350-1363.